

FÖLDRENGÉS TÖRTÉNT, RÁZKÓDÁS VÁRHATÓ!

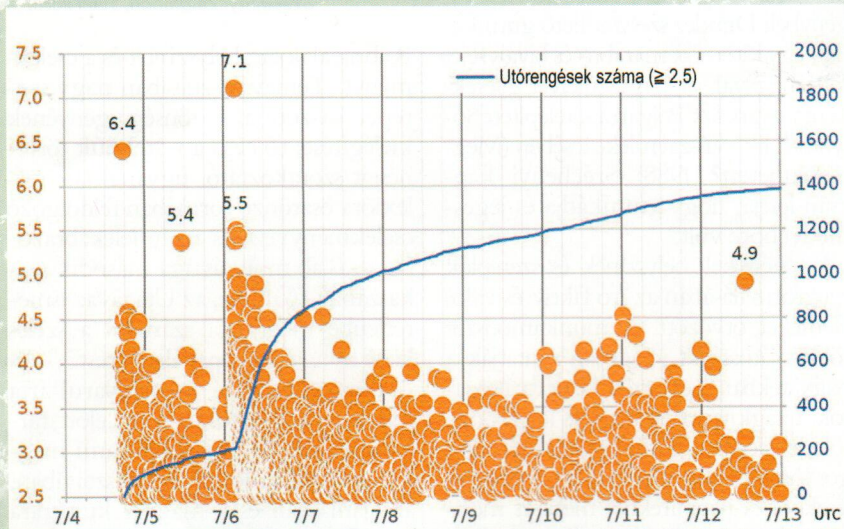
Egy, a közelünkben kipattant nagyobb földrengés után a telefonunkra küldött riasztás néhány másodperccel, esetleg 1-1,5 perccel korábban figyelmeztethet minket arra, hogy erős rázkódás várható. A mobiltelefonra letölthető alkalmazást már használják és tesztelik a világ számos országában azzal a céllal, hogy csökkentsék a földrengésből eredő károkat, de főleg az áldozatok számát. Ez nem földrengés-előrejelzés, hiszen már a megtörtént szeizmológiai mozgás helyét és méretét ismerve kapjuk az értesítést.

Ldönként újra és újra eljutnak hozzánk pusztító földrengések hírei, legutóbb idén nyáron július 4-én és július 5-én Dél-Kaliforniát rázta meg két erős földrengés: $M=6,4$ -es és egy $M=7,1$ -es, amelyeket több mint ezer kisebb utó rengés követett! A földrengések epicentrumai Ridgecrest városa közelében voltak, mintegy 240 kilométerre északkeletre Los Angeles-től. Az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatának ismeretei szerint ez a $M=7,1$ -es földrengés volt az egyik legnagyobb, amely az elmúlt 40 év alatt megrázta ezt a régiót. De hogy működött a gyorsriasztás?

A hurrikánra vonatkozó felhívásokkal ellentétben, amelyeket már napokkal korábban megkap a lakosság vagy a szökőár-figyelmeztetések, amelyek pár perctől néhány óra tartamú előrejelzést jelentenek – mielőtt a szökőár megérkezne a partokra –, a földrengések riasztási ideje sokkal-sokkal rövidebb. A figyelmeztetés csupán néhány másodperccel, olykor 1-1,5 perccel előzhetik meg a rengéshullámokat. Ennek a rövid riasztási időnek a földrengések természete az oka.

Hogyan működik?

Egy közelünkben történt földrengésről kapott riasztás lehetőségét két jellemző teszi lehetővé. Egyrészt egy földrengés során különböző típusú rugalmas hullámok szabadulnak fel a fészekből. Elsőként a gyorsabb P-hullámok érkeznek be a szeizmológiai állomásokra, de a károkat a lassabban terjedő és később beérkező S- és felületi hullámok okozzák. A P-hullámok



A kaliforniai Ridgecrestet megrázó 2019. júliusi földrengéssorozat két legnagyobb rengését körülbelül 1400 $M \geq 2,5$ utó rengés követte, amelyek halmozott számát a kék vonal mutatja (FORRÁS: [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG](https://en.wikipedia.org))

körülbelül kétszer akkora sebességgel terjednek, mint az erősebb S-hullámok. A P- és S-hullám beérkezési időkülönbsége a rengés epicentrumától távolodva egyre nagyobb. Másrészt, a szeizmikus hullámok terjedési sebessége sokkal lassabb, mint az elektromágneses hullámoké, amelyeket a modern kommunikációs rendszerekben az információ továbbítására használnak.

Egy hatékony riasztórendszer esetében a földrengés első P-hullámait észlelik a kiépített szeizmikus mérőállomások műszerei, ahogy azokat a földrengéshullámok egymás után sorban elérik. A mérőállomásokról a P-hullámok beérkezési időpontjai azonnal fénysebességgel továbbítódnak a feldolgozó központba. Az adatokból egy algoritmus nyomban

meghatározza és javítja a földrengés helyét és méretét, ahogy egyre több helyről befutnak az észlelések. Az érintett területen tartózkodók – feltéve, hogy van földrengésriasztó alkalmazás a telefonjukon vagy a számítógépükön – automatikusan megkapják a riasztást, és a földrengésriasztó program (applikáció) a tartózkodási helyükből kiszámítja a rengéshullámok várható beérkezési (odaérkezési) idejét és várható erősségét.

Az S- és felületi hullámok rázkódása miatt lehet, hogy megsérülnek az épületek, de sokan menedéket tudnak keresni a riasztási idő alatt. Ezenkívül önműködő óvintézkedések lépnek működésbe (liftek leállnak, gyorsvasutak, metrók lelassulnak, a veszélyes üzemekben leáll a munka stb.), amelyek csökkenthetik

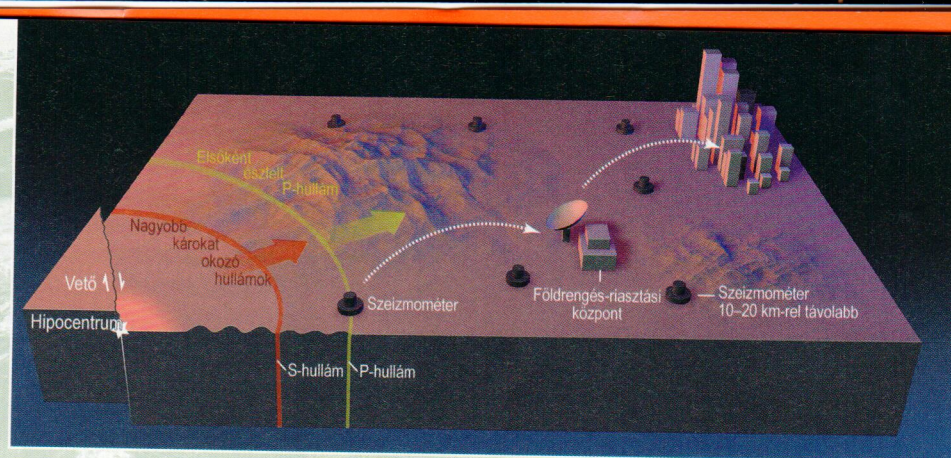


A lehetséges maximális riasztási időt a P- és S-hullám beérkezési időkülönbsége határozza meg. A 2011-es Tohoku $M=9,1$ -es földrengésre Szendai városának 15 másodperc, míg Tokió számára (373 kilométerre az epicentrumtól) 65 másodpercnyi figyelmeztetés állt rendelkezésre.

a sebesültek számát. Japánban a tévéadást megszakítva vagy a képernyő sarkába kiírva adják ki a riasztást.

Mennyi idő áll rendelkezésünkre?

Nagyon kényes lépés annak a rengés erősségének a meghatározása, amelyre élesedik a figyelmeztetés. Példaként vegyünk egy $M=7,5$ -es erősségű földrengést! Ekkora rengés esetén mintegy 55 kilométer sugarú terület az, ahol erős rázkódás várható. Az S-hullámok – amelyek az erős szeizmikus hullámok kezdetét jelzik – körülbelül 2-5 kilométer/másodperc sebességgel haladnak. A földrengésről az első ismeretet a P-hullámok adják, amelyek sebessége mintegy 4-7 kilométer/másodperc. Egy 10 kilométer mélységben kipattant földrengés esetében az éppen felette lévő szeizmométert 1,5 másodperc múlva éri el az először beérkező P-hullám, amelyet ezután az S-hullám követ 1,3 másodperccel később. Az epicentrum feletti helyszínen sajnos nincs idő felkészülni. Az S hullámoknak azonban 15 másodperc kell, hogy a földrengés fészekétől 55 kilométerre eljussanak. Tekintettel a mintegy 3 másodperces feldolgozási időre (szoftver, számítógépek sebessége, internet átviteli eszközök sebessége, a szeizmikus adatok összegyűjtése távolabbi helyekről, azok feldolgozása és a riasztás



A gyorsriasztás elve: Kipattant a földrengés → P- és S-hullámok terjednek tova → a P- és S-hullámok sorban elérik a szeizmológiai műszereket, amelyek továbbítják azok „beütési” időpontját a központba → szükség esetén elküldik a riasztást (FORRÁS: USGS)

tás elküldése), az 55 kilométeres távolságban élők az erős rázkódás előtt körülbelül 12 másodperccel kapnak figyelmeztetést.

Általában véve, minél közelebb van egy hely az epicentrumhoz, annál erősebb rázkódás várható, de sajnos annál rövidebb figyelmeztetési idő áll csak rendelkezésre. Ez különösen igaz a kicsi és mérsékelt erősségű földrengésekre (körülbelül $M=6,5$), mert az erős rázkódást érintő terület kisebb kiterjedésű. Nagyon közeli epicentrum esetén előfordulhat, hogy nem is lehet figyelmeztetést kiadni. Ennek oka az, hogy a gyengébb P- és az erősebb S-hullámok közötti időkülönbség még nagyon kicsi, sőt itt akár a P-hullámok is erősek lehetnek. A riasztási idő pedig mindössze 1 másodperc vagy a másodperc tört része lenne. A nagyobb riasztási idő csak nagyobb távolságokra lehet elegendő bármilyen cselekvésre, bár a rázkódás várható ereje távolabb már kisebb lesz. Azokban a régiókban a leghasznosabb a földrengés-riasztási rendszer, amelyek legalább 100 kilométerre találhatók valamelyik földrengésekben aktív területtől. A 100 kilométernél közelebbi területet *vak zónának* is nevezik, mivel túl közel van az epicentrumhoz az emberi reagálásra.

2019. augusztus 12-én éjjel 1 óra 30 perckor földrengés keletkezett a Heves megyei Heves város közelében. A földmozgás mérete 4,1 volt a Richterskálán, és nagyon sok helyen – többek között az epicentrumtól 62 kilométerre lévő Miskolcon is – érezték. A miskolciaknak alig 20 másodperc állt volna rendelkezésre felkészülni erre a földrengésre – ha a földrengés kipattanási idejében azonnal tudtak volna róla – az S-hullámok ugyanis ennyi

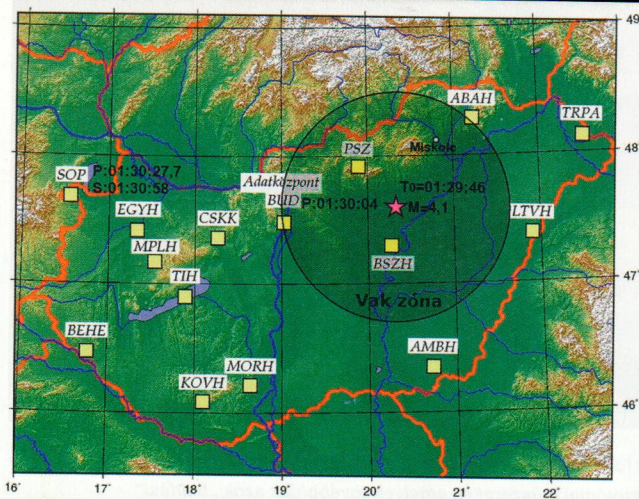
idő alatt érték el a várost, ami a *vak zónába* esett. Hazánkban a legnagyobb ismert földrengés Komáromban történt 1763-ban, amelynek a mérete $M=6,3$ körüli lehetett. Hatására romba dőlt az 50 kilométerre levő számbéki bazilika épülete – ez utóbbi helyszínre körülbelül 14 másodperc alatt érték el az erősebb S-hullámok, mintegy 10 másodperc riasztási idő állt volna rendelkezésre. Magyarországon nincs ilyen riasztórendszer.

Mire elég 10-20 másodperc?

Minél közelebb vagyunk az epicentrumhoz, annál rövidebb a riasztási idő. Az emberek a riasztás utáni rövidebb-hosszabb időt felhasználhatják arra, hogy különböző módon óvják, védjék magukat, és csökkentsék a sérüléseket, esetleg a halálos balesetek számát. Ha a riasztási idő lehetővé teszi, akkor a veszélyes épületeket akár ki is üríthetik. A vegyi balesetek száma csökkenthető, a kórházakban a betegek védelem alá helyezhetők, riaszthatják a műtőben és a fogorvosi rendelőben a sebészeket, hogy állítsák le a műtétet, illetve a pillanatnyi kezelést. A tüzesetek megakadályozhatók, a veszélyes környezetben dolgozók megóvhatók a lezuhanástól, eleséstől, az utakon félreállhatnak az autókkal. Egyes becslések szerint ezzel akár 50 százalékkal csökkenthetők a sérülések vagy a halálos balesetek száma. Nagy

A riasztás esetén a következő üzenetet kapja a felhasználó a mobiltelefonjára: „Földrengés! Földrengés! Erős rázkódás várható! Földre, fedezékbe, fogódzkodj! Védj az életedet!”





A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állomásai, aminek az adatközpontja Budapesten az MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatóriumban működik. A 2019. augusztus 12-i $M=4,1$ földrengés kattanási ideje $T_0=01:29:46$, fészke mélysége körülbelül 14 kilométer volt. A BUD budapesti adatközpontba mintegy 100 kilométerre az epicentrumtól 01:30:04-kor már 4 állomásról érkeztek be adatok, amiből egy előzetes epicentrum számítható, és 3 másodperces feldolgozási idő esetén 01:30:07-kor élesedett volna be a riasztás. A térképen az epicentrum körüli 100 kilométer sugarú kör a vakzónát határolja. A miskolciak is ebbe estek bele. Ezen a területen gyakorlatilag nincs riasztási idő. Sopronba 280 kilométerre 01:30:58-kor érkezett volna be az S-hullámok, 51 másodperc felkészülési idő állt volna rendelkezésre. Egy eléggé nagy (érezhető) hazai rengésről jelenleg az adatközpontunk mintegy 90 másodperc után küldi az első értesítést az Observatórium munkatársainak és az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság Központi Főügyelete számára. A rendszer jelenleg nem gyorsriasztásként működik, ahhoz további fejlesztésekre és állomásokra volna szükség.

rázkódás esetén a felvonókban az elensúly elmozdulhat és elakadhat. A földrengés észlelése vagy a földrengésriasztás révén a liftek meg tudja állítani egy automata rendszer.

Japánban a földrengésriasztó rendszer 2007 óta működik, jelenleg már több mint 1000 mérőállomással. Tapasztalataik szerint kritikus lépés a rengéshullámok várható erősségének – azaz a hullám csúcsgyorsulásának – meghatározása a különböző területekre. Ezek az információk fontosak annak eldöntésében, hogy riasszák-e a katasztrófa-kezelő hatóságokat, és figyelmeztetést adjanak-e ki a lakosok számára. Japánban riasztást akkor adnak ki, ha legalább két állomás észlel egy elég nagy földrengést és az első figyelmeztetéstől számított 60 másodpercen belül az új adatok beérkezése után egy újabb frissített figyelmeztetést adnak ki.

A népesség elöregedése miatt kiemelt fontosságúak a hagyományos kommunikációs csatornák, azaz a tévé- és rádióadásokat megszakító figyelmeztetések. 2005-től a települések 70 százalékában hangszórókkal is riasztanak az épületek, illetve a tömegközlekedési járművek tetejéről. Japánban a liftek majdnem fele már földrengés-érzékelőkkel van felszerelve, és amikor erős rázkódást észlelnek, egy automata rendszer leviszi a földszintre a felvonókat és kinyitja a liftajtókat, így az utasok elhagyhatják az épületet. A 2011-es tohokui földrengés során mintegy 16 700 lift állt le így, lehetővé téve, hogy a mentési munkálatok során ne kelljen időt és energiát fordítani a csapdába esett vagy sérült utasok megmentésére. A rengés miatt egyetlen vonatbaleset sem volt Japánban, mert az automata rendszer már az erős rázkó-

dás megérkezése előtt leállította a szerelvényeket. Az $M=9$ -es rengésről körülbelül 52 millió embernek küldtek el riasztást a mobiltelefonokra. A földrengés utáni hónapban majdnem egymillió személy töltötte le az alkalmazást, szerettek volna tudni az utóregések erejéről.

Már öt másodperc elegendő idő arra, hogy biztonságosabb helyre bújunk, védjük a testünket vagy megkapaszkodjunk valamibe, mielőtt az erős rázás elér minket. Ha egy épületben tartózkodunk földrengés idején, el lehet bújni egy asztal alá, és belekapaszkodni, hogy a rázkódás el ne sodorja tőlünk a menedékünket. Ha tengerparton vagyunk, az „F-F-F” – azaz *Földre, fedezékebe, fogódzkodj!* – után ajánlatos magasabb területre sietni a szökőár elől. Japánban vagy Kaliforniába utazva érdemes a földrengésriasztás alkalmazását letölteni a telefonunkra. Sőt Japánban erre fel is hívják a figyelmét az ott tartósan tartózkodóknak.

Gyorsriasztás világszerte

Egy egyszerű földrengés-riasztási módszert J. D. Cooper kaliforniai orvos már 1868-ban felvázolt a San Francisco Daily Bulletin által közzétett cikkben. Cooper egy sor szeizmikus műszer felszerelését javasolta San Franciscótól 10–100 kilométeres körzetben. Ha egy nagy földrengést mért volna az érzékelő, akkor egy jelet továbbított volna San Franciscóba, ahol egy csengő önműködően megszólalt volna. Annak elenére, hogy ez az ötlet egyszerű és megvalósítható, az első riasztórendszer csak a digitális szeizmométerek megjelenés után, az 1980-as évek végén kezdték el megvalósítani.

Japánban a nagy sebességű Shinkansen vonatokat önműködően lelassítják, amikor egy erős földrengést észlelnek a vasútvonalak közelében. A Mexikó városát 1985-ben pusztító $M=8$ -as erősségű földrengés után a helyi riasztási rendszer 1993-ban indult el. Ma már számos országban elérhető földrengésriasztó alkalmazás, például Japánban, Romániában, Tajvanon, Törökországban, Olaszországban, Svájcban, Chilében, Nicaraguában, Kínában. Az USA nyugati partján *ShakeAlert* néven található az applikáció. (<https://www.usgs.gov/natural-hazards/shakealert>).

A már említett kaliforniai $M=6,4$ -es erősségű földrengés 2019. július 4-én pattant ki és egy $M=7,1$ -es másnap. Az epicentrumtól 240 kilométerre is még erős rázkódást lehetett érezni, de az idén január 1-én bevezetett földrengésriasztó rendszer nem kapcsolt be egyik rengésnél sem! A talajrázkódás erőssége ugyanis a „hármast” érték alatt maradt, ami nem érte el a figyelmeztetés aktiválásához szükséges szintet. Meg kell találni az üzemeltetés során az optimális költség-haszon arányt. Felesleges riasztani az embereket egy alacsony rázkódási szintről. Ha kaptak volna figyelmeztetést az emberek, akkor tudták volna, hogy csak kis rázkódás várható, és megbizonyosodhattak volna róla, hogy a rendszer működik. A ridgecresti földrengések esetén az azoktól 200 kilométerre levő Los Angeles lakosai számára 48 másodperc lett volna a riasztási idő.

KISZELY MÁRTA szeizmológus
MTA CSFK GGI